

PCT

ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE
Bureau international



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

<p>(51) Classification internationale des brevets ⁶ : C07D 473/16, 473/40, 473/32, A61K 31/52</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Numéro de publication internationale: WO 97/20842 (43) Date de publication internationale: 12 juin 1997 (12.06.97)</p>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR96/01905 (22) Date de dépôt international: 29 novembre 1996 (29.11.96) (30) Données relatives à la priorité: 95:14237 1er décembre 1995 (01.12.95) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange, F-75794 Paris Cédex 15 (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): MEIJER, Laurent [FR/FR]; 25, rue Edouard-Corbier, F-29650 Roscoff (FR). BISAGNI, Emile [FR/FR]; 16, rue Bossuet, F-91400 Orsay (FR). LEGRAVEREND, Michel [FR/FR]; 17, rue Charles-de-Montesquieu, F-92160 Antony (FR). (74) Mandataires: PEAUCELLE, Chantal etc.; Cabinet Armengaud Ainé, 3, avenue Bugeaud, F-75116 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>
<p>(54) Title: NOVEL PURINE DERIVATIVES HAVING, IN PARTICULAR, ANTIPROLIFERATIVE PROPERTIES, AND BIOLOGICAL USES THEREOF (54) Titre: NOUVEAUX DERIVES DE PURINE POSSEDANT NOTAMMENT DES PROPRIETES ANTI-PROLIFERATIVES ET LEURS APPLICATIONS BIOLOGIQUES (57) Abstract 2-, 6- and 9-substituted purine derivatives, particularly 2-(1-R hydroxymethylpropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, having, in particular, antiproliferative properties, and suitable for use as drugs and weedkillers, are disclosed. (57) Abrégé Les dérivés de l'invention sont des dérivés de purine substitués en positions 2, 6 et 9. Il s'agit en particulier de la 2-(1-R hydroxyméthylpropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine. Ces dérivés présentent notamment des propriétés anti-prolifératives et sont utilisables comme médicaments et comme herbicide.</p>		

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Arménie	GB	Royaume-Uni	MW	Malawi
AT	Autriche	GE	Géorgie	MX	Mexique
AU	Australie	GN	Gambie	NE	Niger
BB	Barbade	GR	Grèce	NI	Pays-Bas
BE	Belgique	HU	Hongrie	NO	Norvège
BF	Burkina Faso	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BG	Bulgarie	IT	Italie	PL	Pologne
BJ	Bénin	JP	Japon	PT	Portugal
BR	Brazil	KE	Kenya	RO	Roumanie
BY	Belarus	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CA	Canada	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CV	République centrafricaine	KR	République de Corée	SE	Suède
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SG	Singapour
CH	Suisse	LI	Liechtenstein	SI	Slovenie
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LR	Libéria	SN	Sénégal
CN	Chine	LT	Lituanie	SZ	Swaziland
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CZ	République tchèque	LV	Lettonie	TG	Togo
DE	Allemagne	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DK	Danemark	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
EE	Estonie	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	UG	Ouganda
FI	Finlande	MN	Mongolie	US	Etats-Unis d'Amérique
FR	France	MR	Mauritanie	UZ	Ouzbékistan
GA	Gabon			VN	Viet Nam

**NOUVEAUX DÉRIVÉS DE PURINE POSSÉDANT NOTAMMENT DES
PROPRIÉTÉS ANTI-PROLIFÉRATIVES ET LEURS APPLICATIONS
BIOLOGIQUES.**

L'invention a pour objet de nouveaux dérivés de purine possédant des propriétés anti-prolifératives et leurs applications biologiques.

Elle vise en particulier des dérivés de purine dotés d'un effet inhibiteur vis-à-vis de protéines kinases cycline-dépendantes, ou cdk en abrégé.

L'étude des mécanismes moléculaires qui contrôlent le cycle cellulaire a permis de mettre en évidence le rôle régulateur des cdk. Ces protéines sont constituées d'au moins deux sous-unités, une sous-unité catalytique (dont cdc2 est le prototype) et une sous-unité régulatrice (cycline). Huit cdk ont été décrites, cdk1 (=cdc2), cdk2-cdk8.

A l'exception de cdk3, pour laquelle aucune cycline associée n'est connue, ces cdk sont régulées par association transitoire avec un membre de la famille des cyclines : cycline A (cdc2, cdk2), cycline B1-B3 (cdc2), cycline C (cdk8), cycline D1-D3 (cdk2-cdk4-cdk5-cdk6), cycline E (cdk2), cycline H (cdk7).

Chacun de ces complexes est impliqué dans une phase du cycle cellulaire. L'activité des cdk est régulée par modification post-traductionnelle, par associations transitoires avec d'autres protéines et par modification de leur localisation intracellulaire. Les régulateurs des cdk comprennent des activateurs (cyclines, cdk7/cycline H, phosphatases cdc25), les sous-unités p9^{CK3} et p15^{cdk4-BP} et

les protéines inhibitrices (p16^{INK1A}, p15^{INK1B}, p21^{Cip1}, p18, p27^{Kip1}).

Parallèlement aux recherches purement fondamentales sur les mécanismes régulateurs de la division cellulaire, l'importance des dérégulations des kinases cyclines-dépendantes dans le développement des tumeurs humaines a été démontrée par de nombreuses études. Ainsi, ont été observées la surexpression de cyclines D et E dans de nombreuses tumeurs, la surexpression de cdc2, les propriétés oncogéniques des cyclines D et A, l'expression temporelle anormale de kinases cyclines-dépendantes, la dérégulation majeure des inhibiteurs protéiques (mutations, délétions).

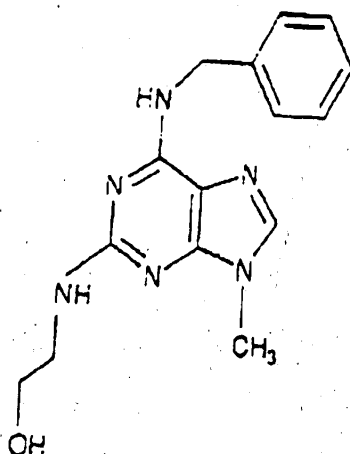
Les régulateurs du cycle de division cellulaire font l'objet de très nombreuses études cliniques (utilisation en tant que marqueurs indicatifs pour le traitement).

Ces résultats encouragent très fortement les efforts de compréhension détaillée des mécanismes régulateurs du cycle cellulaire. Ils conduisent également à rechercher, par criblage, des molécules inhibitrices de kinases cyclines-dépendantes.

Plusieurs inhibiteurs de kinases ont été décrits, comme la butyrolactone, le flavopiridol et la 2(2-hydroxyéthylamino)-6-benzylamino-9-méthylpurine, appelée olomoucine. Les travaux concernant l'olomoucine sont rapportés par Vesely et al. dans l'article portant la référence (1) dans la liste des références bibliographiques donnée en fin de description.

Cet inhibiteur de cdc2, de grande efficacité (son IC₅₀ est de 7 µM) et très sélectif (plus de 35 kinases ont été testées), répond à la formule :

3



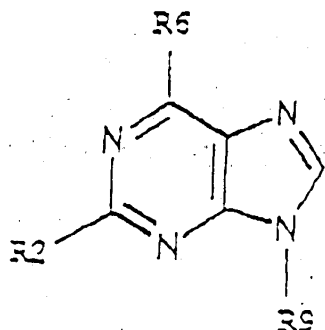
Les travaux des inventeurs dans ce domaine les ont conduits à élaborer de nouvelles molécules particulièrement intéressantes, inhibant cdc2 à doses faibles, tout en conservant la spécificité enzymatique de l'olomoucine.

L'invention a donc pour but de fournir de nouveaux dérivés de purine possédant notamment des propriétés anti-prolifératives.

L'invention vise également un procédé d'obtention de ces dérivés par voie de synthèse, permettant de les préparer à l'échelle industrielle.

Elle vise également leur application en thérapeutique et en tant qu'herbicide.

Les dérivés de purine de l'invention sont caractérisés en ce qu'ils répondent à la formule I



dans laquelle,

5 - R2, R6 et R9, identiques ou différents les uns des autres, représentent un atome d'halogène, un radical R-NH-, R-NH-NH-, NH-R'-NH- ou R-NH-R'-NH-, dans lequel R représente un radical alkyle à chaîne droite ou ramifiée, saturé ou insaturé, un radical aryle ou cycloalkyle, ou un hétérocycle, et R' un groupe alcoylène à chaîne droite ou
10 ramifiée, saturé ou insaturé, ou un groupe arylène ou cycloalcoylène, R et R' renfermant chacun de 1 à 8 atomes de carbone, et étant substitués, le cas échéant, par un ou plusieurs groupes -OH, halogène, amino ou alkyle,

15 - R2 pouvant, en outre, représenter un hétérocycle portant, le cas échéant, un radical alkyle à chaîne droite ou ramifiée saturé ou insaturé, un radical aryle ou cycloaryle, ou un hétérocycle, éventuellement substitué par un ou plusieurs groupes -OH, halogène, amino ou alkyle,

20 - R9 pouvant, en outre, représenter un radical alkyle à chaîne droite ou ramifiée, saturé ou insaturé, un radical aryle ou cycloalkyle,

25 - R2 et R9 pouvant représenter en outre un atome d'hydrogène, à l'exception des dérivés dans lesquels lesdits substituants présentent respectivement les significations suivantes :

R6 et R9, un groupe benzylamino et méthyle, .

R2 et R6 , un groupe 2-hydroxyéthylamino et benzylamino,

30 R2, R6 et R9, un groupe amino, benzylamino et méthyle, ou chloro, amino et méthyle, ou chloro, benzylamino et méthyle, ou chloro, 3-hydroxybenzylamino et méthyle, ou chloro, 5-hydroxypentylamino et méthyle, ou 2-

hydroxyéthylamino, benzylamino et isopropyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, amino et méthyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, isopentényl et méthyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, isopenténylamino et méthyle, ou 2-
5 hydroxyéthylamino, benzylamino et méthyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, benzylamino et 2-hydroxyéthyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, benzylamino et isopropyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, (3-hydroxybenzyl)amino et méthyle, ou 2-
hydroxyéthylamino, (3-hydroxybenzyl)amino et isopropyle, ou
10 2-hydroxyisobutylamino, 6-benzylamino et méthyle, 2-
hydroxyéthylamino, isopenténylamino et isopropyle, ou (2-
hydroxyéthyl)amino, (4-méthoxybenzyl)amino et isopro-
pylamino,

et les dérivés de purine de l'invention sont, de
15 plus, caractérisés en ce qu'ils présentent une IC_{50}
inférieure ou égale à 5 μ M environ pour cdc2/cycline B.

Les dérivés exclus de l'invention, mentionnés ci-
dessus, sont décrits dans la référence (1).

D'une manière générale, les dérivés de
20 l'invention constituent des inhibiteurs de protéines
kinases de grand intérêt.

De préférence, l'atome d'halogène est choisi
parmi le chlore, le brome ou le fluor, le radical alkyle
parmi les radicaux méthyle, éthyle, propyle, isopropyle,
25 butyle et isobutyle, pentylène, hexyle et heptyle, le radical
alcoylène parmi les radicaux méthylène, éthylène,
propylène, isopropylène, butylène, isobutylène, pentène ou
isopentène, le radical aryle est un groupe benzylène, le
radical cycloalkyle est un groupe cyclohexyle, le radical
30 arylène est un groupe benzylène, le radical cycloalcoylène
est un groupe cyclohexylène, l'hétérocycle est un
hétérocycle azoté et/ou oxygéné tel qu'un imidazole, un

oxadiazole, une pyridine, une pyridazine ou une pyrimidine, ou encore une pyrrolidine.

Selon une disposition de l'invention, R2 est choisi parmi les radicaux capables de se lier dans un complexe cdk2/ATP, à une région du domaine de liaison de l'ATP occupée par le ribose. Il s'agit avantageusement de radicaux choisis parmi un atome de chlore, un radical amino, méthylamino, éthylamino, n-heptylamino, aminoéthylamino, aminopropylamino, diméthyl aminoéthylamino, hydroxyéthylamino, hydroxy-propylamino, hydroxyisobutylamino, hydroxypentylamino, diméthylhydrazino ou hydroxyméthylpropylamino, [(2R)-2-hydroxyméthyle-pyrrolidine-1-yl], N-benzyla-minoéthanol, (R,S)-amino-héxanol, (S)-amino-2-phényléthanol, (R)-amino-2-phényléthanol, (R)-amino-3-phénylpropanol, (R,S)-amino-pentanol, (R)-amino-propanol, (S)-amino-propanol, (R)-N-pyrrolidine méthanol.

Des dérivés particulièrement préférés renferment comme groupe R2, un radical hydroxypropylamino.

Selon une autre disposition de l'invention, R6 est choisi parmi un groupe amino, isopenténylamino, hydroxypentylamino, 4-hydroxy-3-méthyl-trans-2-buténylamino, benzylamino, hydroxybenzylamino, hydroxyéthylbenzylamino, cyclohexylméthylamino, isopentène, benzylamino ou (3-iodo)-benzylamino.

De préférence, R6 comporte un résidu hydrophobe, tel que benzyle, hydroxybenzyle, ou isopentényle.

De préférence, R2 est choisi parmi le groupe [1-D,L-hydroxyméthylpropylamino], [(2R)-2-hydroxyméthyl-pyrrolidine-1-yl] ou [(R)-N-pyrrolidine-méthanol] et R6 est un benzylamino.

Selon encore une autre disposition de l'invention, le substituant R9 est choisi parmi un atome

4

d'hydrogène, un radical méthyle, isopropyle ou hydroxyéthyle.

De manière avantageuse, R9 est un groupe hydrophobe, en particulier le groupe isopropyle.

Des dérivés de purine préférés de l'invention sont choisis parmi les composés dans lesquels R2, R6 et R9 sont tels qu'indiqués le tableau 1 suivant :

TABLEAU 1

R2	R6	R9	IC ₅₀ μ M cdc2/cycline B
3-hydroxypropylamino	benzylamino	isopropyle	1
2-hydroxypropylamino	benzylamino	isopropyle	0,9
1-D,L-hydroxyméthylpropylamino	benzylamino	isopropyle	0,55
aminoéthylamino	benzylamino	isopropyle	1
2-hydroxypropylamino	isopentényle	isopropyle	1,2
2-hydroxypropylamino	cyclohexylméthylamino	methyle	4
chloro	isopenténylamino	isopropyle	2,5
(2R)-2-hydroxyméthyle-pyrrolidine-1-yl	benzylamino	isopropyle-(9H)	0,45
N-benzylaminoéthanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	2,5
(R-S)-amino-hexanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	2,5
(S)-amino-2-phényléthanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	4,3
(R)-amino-2-phényléthanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	1
(R)-amino-3-phénylpropanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	2,7
(R,S)-amino-pentanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	0,9
(R)-amino-propanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	0,85
(S)-amino-propanol	benzylamino	isopropyle-(9H)	1
(R)-N-pyrrolidine méthanol	(3-iodo)-benzylamino	isopropyle-(9H)	0,45 μ M
(R)-N-pyrrolidine méthanol	benzylamino	cyclopentyl-(9H)	0,7

Les dérivés suivants sont particulièrement préférés, à savoir : la 2-(1-D,L-hydroxyméthylpropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 6-benzylamino-2-[(2R)-2-hydroxyméthyle-pyrrolidine-1-yl]-9-isopropyle-(9H)-purine non cristalline, la 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-2-phényléthanol, la 2-(R,S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-pentanol, la 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-propanol, la 2-(S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-propanol, la 2-(R)-(-)-[6-(3-iodo)-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine méthanol et la 2-(R)-(-)-[6-benzylamino-9-cyclopentyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine méthanol.

L'invention vise également les isomères optiques et les mélanges racémiques, le cas échéant les isomères géométriques des dérivés définis ci-dessus, en particulier l'isomère R du (2-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-2-phényléthanol et du 2-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-propanol.

Les dérivés définis ci-dessus sont obtenus selon les méthodes classiques de la synthèse organique. On utilise un dérivé de purine de départ dont les substitutions permettent d'introduire les groupements souhaités.

En utilisant par exemple un dérivé de purine 2-chloro, 6-benzylamino, il est possible d'introduire un groupe alkyle en position 9, par réaction avec par exemple l'halogénure d'alkyle correspondant.

La réaction avec un aminoalcool permettra ensuite d'introduire, en position 2, un groupe alkyl-hydroxyalkylamino à la place du groupe chloro.

Selon un aspect de grand intérêt, les dérivés de l'invention possèdent des propriétés inhibitrices de kinases de grande sélectivité. Ces effets inhibiteurs sont réversibles.

Les cdk jouant un rôle central dans l'initiation, le développement et l'achèvement des événements du cycle cellulaire, les molécules inhibitrices de cdk sont susceptibles de limiter une prolifération cellulaire non désirée telle que cancer, psoriasis, croissance de champignons, de parasites (animaux, protistes) mais aussi de plantes (herbicides) et d'intervenir dans la régulation de maladies neurodégénératives telles que apoptose neuronale et de la maladie d'Alzheimer.

Les kinases plus spécialement sensibles aux effets inhibiteurs de ces dérivés sont les cdc2, les cdk2 et les cdk5.

Leur inhibition est obtenue avec des doses très faibles en dérivés de purine.

Ainsi, on observe le plus généralement une IC_{50} vis-à-vis de cdc2 inférieure à 50 μM , et même à celle de l'olomoucine (7 μM), considérée cependant comme un inhibiteur puissant.

L'invention vise en particulier des dérivés de purine présentant une IC_{50} ne dépassant pas 5 μM et tout spécialement la 2-(1-D,L-hydroxyméthylpropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, appelée aussi ci-après roscovitine, dont la IC_{50} est de 0,65 μM , la 6-benzylamino-2-[(2R)-2-hydroxyméthyl-pyrrolidine-1-yl]-9-isopropyle-(9H)-purine non cristalline, le 2-(R)-(-)-[6-(3-iodo)-

benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine
méthanol.

Ce dérivé, qui constitue un inhibiteur de grande
efficacité et de grande sélectivité vis-à-vis des cdk,
cdc2, cdk2 et cdk5 présente en revanche, d'une manière
inattendue, des effets sur les kinases erk 1 et erk 2
similaires à ceux de l'olomoucine. La sélectivité est donc
nettement supérieure vis-à-vis des kinases cyclines
dépendantes. Cet avantage, que l'on retrouve avec les
autres dérivés de purine de l'invention, permet d'éliminer
les interférences avec les voies de transduction des
signaux plus en amont qui impliquent les kinases erk 1 et
erk 2 dans de nombreuses réponses cellulaires autres que la
division cellulaire.

L'invention vise également les complexes des
dérivés de purine avec les cdk et tout spécialement la
forme cristallisée du complexe de cdk2 et de roscovitine.

Les études réalisées sur les dérivés de
l'invention ont montré, en plus de leurs propriétés
inhibitrices spécifiques de kinases, des effets cellulaires
et sur l'apoptose de grand intérêt.

Ainsi, à très faible concentration (micromolaire
pour la roscovitine et bon nombre de dérivés), ils sont
capables d'inhiber la transition prophase/métaphase, comme
montré par les expériences réalisées sur des ovocytes
d'étoile de mer et des embryons d'oursin, et qui sont
rapportées dans les exemples.

Sur des extraits acellulaires de Xénope, ils sont
capables d'inhiber à la fois le facteur promoteur de la
phase M et la synthèse d'ADN.

De manière avantageuse, ces effets cellulaires
sont obtenus à des concentrations très faibles en dérivés.

On sait que divers travaux portent sur les rapports existant entre le cycle cellulaire et l'apoptose. Diverses voies conduisent à l'apoptose des cellules dont certaines sont dépendantes de kinases et d'autres ne semblent pas au contraire nécessiter ces enzymes. On a montré que l'apoptose peut être induite au stade G1 ou G2 et qu'à la suite de dommages de l'ADN, certaines cellules s'arrêtent au stade G1 et une voie apoptotique dépendante de p53 est alors induite.

Dans d'autres situations, il apparaît que les cellules s'arrêtent au stade G2/M, en réponse à des dommages causés à l'ADN et on observe l'activation d'une voie apoptotique p53 indépendante.

Cette voie se révèle particulièrement importante pour la thérapie de tumeurs dans lesquelles on observe une perte de p53 active.

On mesure donc l'intérêt de disposer, avec les dérivés de l'invention, de moyens pour stimuler une apoptose p53-indépendante dans des cellules arrêtées au stade G2 par endommagement de l'ADN à l'aide d'agents tels que la mitoxantrone ou le cis-platine.

Les inhibiteurs de cdc2 de l'invention peuvent ainsi augmenter les effets thérapeutiques d'agents anti-tumoraux couramment utilisés.

En tant qu'inhibiteurs de cdk5, les dérivés de l'invention peuvent également jouer un rôle pour réduire l'hyperphosphorylation anormale de tau observée durant la maladie d'Alzheimer.

A ces différentes propriétés avantageuses, s'ajoute l'intérêt d'une absence de cyto-toxicité des dérivés de l'invention.

L'invention vise donc la mise à profit des propriétés de ces dérivés en particulier leurs propriétés antimitotiques et anti-neurodégénératives, pour l'élaboration de compositions pharmaceutiques.

5 Les compositions pharmaceutiques de l'invention sont caractérisées en ce qu'elles renferment une quantité efficace d'au moins un dérivé de purine tel que défini ci-dessus, en association avec un véhicule pharmaceutique inerte.

10 Les compositions de l'invention sont particulièrement appropriées comme médicaments antimitotiques, en particulier pour la chimiothérapie des cancers, ou encore pour le traitement de psoriasis, de parasitoses telles que celles dues à des protistes ou à des champignons, ou de la maladie d' Alzheimer, ou de l'apoptose neuronale.

Ces compositions renferment le cas échéant des principes actifs d'autres médicaments. On citera notamment leur association avec des médicaments antimitotiques, tels
20 que ceux à base de taxol, cis-platine, les agents intercalant de l'ADN, et autres.

Les conditionnements en vue de la vente, en particulier l'étiquetage et les notices d'emploi, et avantageusement l'emballage, sont élaborés en fonction de
25 l'application thérapeutique prévue.

Les compositions pharmaceutiques de l'invention sont administrables sous différentes formes, plus spécialement par voie orale ou injectable.

Pour l'administration par voie orale, on a
30 recours en particulier à des comprimés, pilules, tablettes, gélules, gouttes. Ces compositions renferment avantageusement de 1 à 100 mg de principe actif par unité de prise, de préférence de 10 à 40 mg.

D'autres formes d'administration comprennent des solutions injectables par voie intra-veineuse, sous-cutanée ou intra-musculaire, élaborées à partir de solutions stériles ou stérilisables. Il peut s'agir également de suspensions ou d'émulsions.

Ces formes injectables renferment par unité de prise de 1 à 50 mg de principe actif, de préférence de 10 à 30 mg.

A titre indicatif, la posologie utilisable chez l'homme correspond aux doses suivantes : ainsi on administre par exemple au patient en une ou plusieurs prises 10 à 50 mg/jour pour le traitement de tumeurs, ou pour traiter les psoriasis ou des parasitoses.

L'invention vise également des compositions herbicides comprenant au moins un dérivé de purine tel que défini ci-dessus, éventuellement associé à d'autres agents phytopharmaceutiques.

L'invention vise encore les réactifs biologiques dont les principes actifs sont constitués par les dérivés de purine définis plus haut.

Ces réactifs peuvent être utilisés comme références ou étalons dans des études de la division cellulaire.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention sont rapportés dans les exemples qui suivent et en se reportant aux figures 1 à 8, dans lesquelles

- la figure 1, représente les résultats de cinétiques en conditions linéaires à partir d'essais concernant l'activité de la $p34^{cdc2}$ /cycline B à différentes concentrations de roscovitine.

14

- la figure 2, le pourcentage de rupture de vésicule germinale d'ovocytes d'étoile de mer en fonction de la concentration en roscovitine,

5 - les figures 3 et 4, représentent respectivement les effets de la roscovitine sur la maturation d'ovocytes d'étoiles de mer et la déphosphorylation de la tyrosine de p34^{cdc2} in vivo,

- la figure 4, les effets de la roscovitine sur le cycle mitotique d'embryons d'oursins,

10 - la figure 5, ces embryons arrêtés au stade prophase tardif, et

- la figure 6, les effets de la roscovitine sur la synthèse d'ADN in vitro et l'activité MPF,

15 - la figure 7 représente les effets de la roscovitine sur l'inhibition de la croissance de cellules L1210 et l'arrêt de leur cycle cellulaire en G2/M, en figure 7A est représentée la croissance de cellules L1210 après deux jours d'exposition à diverses concentrations de roscovitine (moyenne \pm déviation standard relative à la croissance de cellule témoin non traitée), en figure 7B sont représentées les moyennes (\pm déviation standard) de la distribution du cycle de cellules ont d'abord été
20 cultivées pendant 48 heures en présence ou en absence de roscovitine 60 μ M,

25 - la figure 8, représente l'effet d'inhibition de la roscovitine sur la phosphorylation in vivo de vimentine au niveau de sites spécifiques à cdc2.

30 MATERIEL ET METHODES

Produits chimiques

Ortho-vanadate de sodium, 1-méthyladénine
(1MeAde), EGTA, EDTA, MOPS, β -glycérophosphate,

dithiothréitol (DTT), fluorure de sodium, nitrophényl-phosphate, leupeptine, aprotinine, inhibiteur de trypsine de soja, benzamidine, histone H1 (type III-S), protéine basique de myéline, caséine, protamine sulfate, isopropyl β -D-thiogalactopyranoside (IPTG), Sépharose 4B activé par CNBr, milieu LB, glutathione et billes de glutathione-Sépharose : tous ces produits sont tels que commercialisés par Sigma Chemicals.

Les analogues de purine sont généralement dissous de manière à disposer de solutions de stockage de 100 mM dans du DMSO. La concentration finale en DMSO dans le mélange réactionnel est inférieure à 1% (v/v).

Le [γ - 32 P]-ATP est un produit d'Amersham.

La protéine GST-Rétinoblastome est exprimée dans des bactéries et purifiée sur des billes de glutathione-Sépharose comme décrit précédemment dans (1) et (2).

Tampons

Tampon d'homogénéisation :

60 mM de β -glycérophosphate, 15 mM de p-nitrophényl-phosphate, 25 mM de MOPS (pH 7,2), 15 mM d'EGTA, 15 mM de $MgCl_2$, 1 mM de DTT, 1 mM de vanadate de sodium, 1 mM de NaF, 1 mM de phénylphosphate, 10 μ g de leupeptine/ml, 10 μ g de aprotinine/ml, 10 μ g d'inhibiteur de trypsine de soja/ml et 100 μ M de benzamidine.

Tampon C: composition du tampon d'homogénéisation, mais avec 5 mM d'EGTA, sans NaF et sans inhibiteurs de protéase.

Préparation des extraits d'ovocytes d'étoile de mer en phase M

Pour obtenir des préparations d'extraits d'ovocytes à grande échelle, on enlève les gonades de Marthasterias glacialis matures et on les fait incuber avec 10 μ M de 1-MeAde dans de l'eau de mer naturelle filtrée sur Millipore jusqu'à la ponte. Les ovocytes sont alors tous entrés en phase M. On les sépare du milieu d'incubation par centrifugation, on les congèle directement dans de l'azote liquide et on les maintient à -80°C (voir (1) et (3)).

Les ovocytes en phase M sont homogénéisés dans le tampon d'homogénéisation à raison de 2 ml/g d'ovocytes.

Après centrifugation pendant 45 minutes à 100000g, le surnageant est récupéré et directement utilisé pour purification par chromatographie d'affinité de la kinase p34^{cdc2} / cycline B sur des billes de p9^{CKShs1}-Sépharose (voir (1) et (4)).

Enzymes

Les activités des kinases sont déterminées à 30°C dans le tampon C, à moins d'indication contraire. Les valeurs des blancs sont soustraites des données et les activités sont calculées en pmoles de phosphate incorporé dans l'accepteur de protéine pour une incubation de 10 minutes.

Les témoins sont utilisés avec des dilutions appropriées de DMSO.

La phosphorylation du substrat est, le cas échéant, déterminée par autoradiographie après SDS-PAGE.

On purifie la p34^{cdc2} / cycline B à partir des ovocytes de la phase M des étoiles de mer par chromatographie d'affinité sur les billes de p9^{CKShs1}-Sépharose d'où elles sont éluées à l'aide de p9^{CKShs1} comme décrit ci-dessus (voir (2), (3) et (5)).

Pour la détermination, on utilise 1 mg d'histone H1 (Sigma type III-S)/ml, en présence de 15 μ M de [γ -³²P]

47

ATP (3,000 Ci/mmeole, 1 mCi/ml) dans un volume final de 30 μ l (voir (1) et (6)).

Après un temps d'incubation de 10 minutes à 30°C, on dépose des aliquotes de 25 μ l de surnageant sur du papier de phosphocellulose Whatman P81 et, après 20 secondes, on lave les filtres 5 fois (pendant au moins 5 minutes à chaque fois) dans une solution de 10 ml d'acide phosphorique par litre d'eau.

Les filtres humides sont transférés dans des ampoules de scintillation en plastique de 6 ml, puis on ajoute 5 ml de fluide de scintillation ACS (Amersham) et on mesure la radioactivité dans un compteur Packard.

L'activité kinase est exprimée en pmoles de phosphate incorporé dans l'histone H1 pour 10 minutes d'incubation ou en pourcentage d'activité maximale.

Pour réaliser les expériences de cinétique en conditions linéaires, on utilise, comme décrit ci-dessus, le système d'essai à point final pour la kinase p34^{cac2} mais, sur la base d'essais préliminaires, on utilise des concentrations appropriées, non saturantes, en substrat.

La kinase p34^{cac2} /cycline B est ajoutée de manière à obtenir une activité linéaire par rapport à la concentration en enzyme et au temps.

Dans la plupart des cas, ceci nécessite une dilution enzymatique de 3 à 10 fois dans le tampon C.

Les données de vitesse sont exprimées en pmoles incorporées dans le substrat par seconde, par quantité d'enzyme ajoutée. Les constantes d'inhibition apparentes sont déterminées par analyse graphique.

48

. Les p33^{cdk2}/cycline A et p33^{cdk2}/cycline E sont reconstituées à partir d'extraits de cellules d'insectes sf9 infectées par différents baculovirus.

5 Les cyclines A et E sont des protéines de fusion de GST-cyclines et les complexes sont purifiés sur des billes de glutathione-Sépharose.

Les activités kinases sont déterminées avec 1 mg/ml d'histone H1 (Sigma, type IIIS), en présence de 15 μ M de [γ -³²P] ATP, pendant 10 minutes, dans un volume final de 30 μ l, comme décrit pour la kinase p34^{cdc2}/cycline B.

15 . La p33^{cdk5}/p25 est purifiée à partir de cerveau bovin (7), mais on n'utilise pas l'étape de chromatographie Mono S.

Les fractions actives récupérées à partir de la colonne de Superose 12 sont réunies et concentrées jusqu'à une concentration finale d'environ 25 μ g d'enzyme/ml.

20 La détermination de la kinase est effectuée avec 1 mg/ml d'histone H1 (Sigma, type IIIS), en présence de 15 μ M de [γ -³²P] ATP, durant 10 minutes dans un volume final de 30 μ l, comme décrit pour la p34^{cdc2}/cycline B.

25 . La p33^{cdk4}/cycline D1, est obtenue à partir de lysats de cellules d'insectes. Cdk4 est un produit de construction GST-cdk4 et le complexe actif est purifié sur des billes de glutathione-Sépharose.

30 Son activité kinase est déterminée avec une protéine purifiée GST-rétinoblastome en présence de 15 μ M de [γ -³²P] ATP, dans un volume final de 30 μ l.

Après 15 minutes d'incubation on ajoute du tampon de Laemmli (2 x 30 μ l).

49

Le substrat phosphorylé est résolu par SDS-PAGE 10% et analysé par autoradiographie par exposition durant environ 14 heures à MP Hyperfilm et densitométrie.

5 . La p33^{cdk6}/cycline D2) est obtenue à partir de lysats de cellules d'insectes (8). Pour les essais, on opère comme indiqué ci-dessus pour la protéine p33^{cdk4}/cycline D1.

10 . Les kinases MAP : La GST-erk1 (9), clonée à partir d'une banque humaine HepG2, est exprimée dans des bactéries, purifiée sur des billes de glutathione-Sépharose et testée avec 1 mg de protéine basique de myéline par ml en présence de 15 μ M de $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]$ ATP comme décrit ci-dessus pour la kinase p34^{cdc2}/cycline B.

15 Les protéines erk1 et erk2 marquées à l'aide de l'histone sont activées in vitro par MAPKK, purifiées (affinité-Ni et Mono Q) et testées comme décrit ci-dessus durant 10 minutes, dans un volume final de 30 μ l.

20 . La sous-unité catalytique de la kinase cAMP-dépendante, purifiée à partir de cœur de bovin est testée avec 1 mg d'histone H1 par ml, en présence de 15 μ M de $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]$ ATP, comme décrit ci-dessus pour la p34^{cdc2}/cycline B.

25 La kinase cGMP-dépendante (10), purifiée jusqu'à l'homogénéité à partir de muscle lisse de trachée d'origine bovine est testée avec 1 mg d'histone H1 par ml, en présence de 15 μ M de $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]$ ATP, comme décrit ci-dessus pour la p34^{cdc2}/cycline B.

30 . La caséine kinase 2 est isolée de cytosol de foie de rat (11) et testée avec 1 mg de caséine par ml et 15 μ M de $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]$ ATP. Le substrat est déposé sur des filtres Whatman 3MM et lavé avec 10 % de TCA (W/V).

. La kinase de la chaîne légère de myosine purifiée à partir de gésier de poule (12) est testée en présence de 100 nM de calmoduline, 100 μ M de CaCl_2 , 50mM de HEPES, 5 mM de MgCl_2 , 1 mM de DTT et 0,1 mg de BSA/ml à pH 7,5, en utilisant un peptide de synthèse à base du site de phosphorylation de la chaîne légère de myosine de muscle lisse (KKRPQRATSNVFAM, 50 μ M) et en présence de 15 μ M de [γ - 32 P] ATP, dans un volume final de 50 μ l.

L'incorporation de phosphate radioactif est contrôlée sur filtres de phosphocellulose comme décrit ci-dessus.

. L'ASK- γ , homologue chez la plante de GSK-3, est exprimée en tant que protéine de fusion GST dans *E. coli* (13) et purifiée sur glutathione-Sépharose. L'activité de la kinase ASK- γ est déterminée, pendant 10 minutes à 30°C, avec 5 μ gm, de protéine basique de myéline, en présence de 15 μ M de [γ - 32 P] ATP, dans un volume final de 30 μ l. La protéine basique de myéline phosphorylée est récupérée sur papier de phosphocellulose Whatman P81 comme décrit ci-dessus pour la $\text{p34}^{\text{cdc}2}$ /cycline B.

. Le domaine tyrosine kinasique du récepteur de l'insuline (14) est surexprimé dans un système à baculovirus et purifié jusqu'à l'homogénéité. Son activité kinase est déterminée pendant 10 minutes à 30°C avec 5 μ g de Raytide (Oncogène Sciences), en présence de 15 μ M de [γ - 32 P] ATP, dans un volume final de 30 μ l. Le produit Raytide phosphorylé est récupéré sur papier de phosphocellulose Whatman P81 comme décrit ci-dessus pour la $\text{p34}^{\text{cdc}2}$ /cycline B.

Exemple 1 : Synthèse de la roscovitine

La synthèse est effectuée en 3 étapes et comporte la préparation 1) tout d'abord de la 6-benzylamino-2-

24

chloropurine, puis 2) de la 6-benzylamino-2-chloro-9-isopropylpurine, et 3) de la 6-benzylamino-2-R-(1-éthyl, 2-hydroxyéthylamino)-9-isopropylpurine.

1) Synthèse de la 6-benzylamino-2-chloropurine :

5 On opère comme décrit par Hocart dans Phytochemistry 1991, 30, 2477-2486.

2) Synthèse de la 6-benzylamino-2-chloro-9-isopropylpurine (I) :

10 On soumet à agitation à température ambiante, pendant trois jours, un mélange de 6-benzylamino-2-chloropurine (3,7 g; 14,2mmole), de carbonate de potassium (11g; 80mmole) et de bromure d'isopropyle (8,2 ml; 87mmole) dans 100 ml de DMSO absolu. Par chromatographie en couche mince [CHCl_3 -MeOH (98:2)], on constate l'absence de
15 6-benzylamino-2-chloropurine. On élimine par distillation sous vide en-dessous de 50°C le DMSO et l'excès de bromure d'isopropyle. Le résidu est partagé entre de l'eau et de l'acétate d'éthyle. La phase organique est séchée sur Na_2SO_4 et évaporée sous vide.

20 Par cristallisation dans MeOH, on obtient 3,51 g (82%) de produit ; P.F. 181-182°C; UV (MeOH) : λ_{max} 273,5; IR (Nicolet 205, KBr, DRIFT cm 1713,1626,1572,1537, 1497, 1471,1456,1425,1398,1355,1314,1292,1255,1228, 1202.

25

30

22

3) Synthèse de la 6-benzylamino-2-R-(1-éthyl-2-hydroxyéthylamino)-9-isopropylpurine (II), dérivé racémique:

On chauffe dans un four à 160-165°C, pendant 3 h 30, une ampoule scellée, dans laquelle on a fait le vide, contenant 2,7 g (8,95 mmole) de I et 17 ml (0,18 mole) de R(-)-2-amino-1-butanol (Fluka 90%, R:S>9:1). On évapore l'excès d'amine à une température inférieure à 50°C, et on purifie le produit II sur une colonne de chromatographie en utilisant des quantités croissantes de MeOH dans CHCl₃, à savoir 0, puis 2, et 3%.

Par cristallisation dans de l'acétate d'éthyle, on obtient de 2,2 g de II (69%); P.F. 132-134°C, $[\alpha]_D^{25} = +35,1$ (c = 0,29, CHCl₃). Spectrographie de masse [Finnigan MAT 90, BE géométrie 70 eV, température de la source 250°C, courant d'émission 1 mA, voltage d'accélération 5 keV, entrée directe, DIP température entre 190-220°C. HRMS a été effectué par la méthode de chevauchement de pics en utilisant Ultramark 1600 F (PCR Inc.; Fl.; USA) comme standard] 354.2167 (M⁺, C₁₉H₂₆N₆O calc. 354.2168, 27%), 325 (7%), 324 (29%), 232 (100%), 295 (3%), 282 (7%), 281 (3%), 217 (6%), 185 (5%), 134 (3%), 91 (34%). FTIR (Nicolet 205, KBr, DRIFT, cm⁻¹): 1622, 1610, 1547, 1540, 1452, 1389, 1370, 1261, 1068.

23

Exemple 2 : Etude des propriétés inhibitrices de kinases de la roscovitine et de ses effets sur le cycle cellulaire.

a) étude des propriétés inhibitrices de kinases.

30

Les activités des enzymes rapportées dans le tableau suivant ont été mesurées, après addition de roscovitine ou d'olomoucine, selon des concentrations

23

croissantes. Ces activités ont été mesurées avec des substrats appropriés (histone H1, protéine basique de myéline, caséine, etc...) avec 15 μ M d'ATP.

Les IC_{50} ont été calculées à partir des courbes doses-réponses obtenues. L'indication (--) signifie qu'aucun effet inhibiteur n'a été observé. La concentration la plus élevée testée est donnée entre parenthèses.

24

TABLEAU 2

Enzyme	IC ₅₀ (μM) Roscovitine	Olomoucine
cdc2/cyclin B	0,65	7
cdc2/cyclin A	0,7	7
cdc2/cyclin E	0,7	7
cdc4/cyclin D1	> 1000	> 1000
cdk5/p35	0.16	3
cdk6/cyclin D3	> 500	> 250
GST-erk1	30	30
erk1	34	50
erk2	14	40
PK cAMP-dependant	> 1000	> 2000
PK cGMP-dependant	- (1000)	> 2000
Kinase de la chaîne légère de myosine	90	> 1000
caséine kinase 2	- (1000)	> 2000
ASK-γ (plante GSK-3)	220	130
insuline-récepteur tyrosine kinase	70	400
c-src	250	-
v-abl	> 1000	-

. inhibition de cdc2, cdk2 et cdk5.

25

L'examen de ces résultats montre que la roscovitine présente une activité 10 fois plus élevée que l'olomoucine vis-à-vis des cibles cdc2 et cdk2 et 20 fois plus élevée vis-à-vis de cdk5.

3 Comparativement, son effet apparaît limité, comme observé avec l'olomoucine sur les kinases cdk4/cycline D1 et cdk6/cycline D2 (les IC_{50} sont supérieures à 100 μ M). Cette absence d'effet a été confirmée avec cdk4 provenant de différentes sources. En opérant dans des conditions
10 identiques, la GST-p16^{INK4A} inhibe la cdk4/cycline D1.

spécificité de l'effet inhibiteur

Comme on peut le constater, la plupart des kinases sont faiblement ou pas du tout inhibées.

Bien que la roscovitine présente une efficacité
15 au moins 10 fois supérieure à celle de l'olomoucine vis-à-vis de ses cibles cdk, son effet inhibiteur est très similaire à celui de l'olomoucine vis-à-vis de erk 1 et de erk 2. Une concentration 40 fois plus élevée en roscovitine apparaît ainsi nécessaire pour inhiber erk1 (20 fois pour
20 erk 2) de manière similaire à l'inhibition de cdc2.

- b) Effet sur l'ATP

Pour étudier le mécanisme d'action de la roscovitine, on a réalisé des expériences de cinétique en présence de concentrations croissantes en roscovitine, avec
25 variation des niveaux de l'ATP (de 0,1 à 0,5 mM), la concentration en histone H1 est maintenue constante à 0,7 mg/ml.

Les résultats sont rapportés sur la figure 1.

30 Ces résultats montrent que la roscovitine agit en tant qu'inhibiteur compétitif pour l'ATP. Compte tenu de la linéarité des pentes en fonction des concentrations en

roscovitine, on la qualifie d'inhibiteur linéaire. La constante d'inhibition apparente K_i est de 1,2 μM .

L'analyse de la structure du co-cristal de roscovitine et de cdk2 confirme que la roscovitine se lie, comme l'olomoucine, dans la poche de liaison à l'ATP et que son cycle purine est orienté comme celui de l'olomoucine, à savoir de manière totalement différente du cycle purine de l'ATP.

c) Etude de l'effet sur la synthèse d'ADN et l'activité MPF.

On rapporte les résultats d'expériences réalisées sur plusieurs types cellulaires.

effet sur la maturation d'ovocytes d'étoile de mer et sur la déphosphorylation de la tyrosine de $p34^{\text{cdc}2}$ in vivo.

Des ovocytes d'étoiles de mer, arrêtés à la prophase, sont traités, pendant 15 minutes, avec des concentrations croissantes de roscovitine avant d'ajouter l'hormone 1-MeAde (1 μM). Après 30 minutes, on note le % de rupture de vésicule germinale (GVBD). Ces valeurs sont rapportées sur la figure 2 en fonction de la concentration en roscovitine (en μM). La roscovitine inhibe la rupture de l'enveloppe nucléaire avec une IC_{50} de 5 μM (la IC_{50} de l'olomoucine, en opérant dans les mêmes conditions, est de 30 μM). Ces résultats sont donnés sur la figure 2.

Comme déjà observé avec l'olomoucine, la roscovitine diminue, mais n'inhibe pas, la déphosphorylation de la tyrosine de $p34^{\text{cdc}2}$ in vivo. On traite des ovocytes avec 10 μM de roscovitine pendant 15 minutes avant d'ajouter 1 μM de 1-MeAde au temps 0. Les extraits sont préparés à différents temps et chargés sur une colonne de bille de p9ckshsl-Sépharose

27

Les protéines qui se sont liées aux billes sont résolues par SDS-PAGE avant d'effectuer un Western blot avec des anticorps anti-PSTAIRE. Une photo du Western blot est présentée sur la figure 3. Les formes phosphorylées de p34^{cdc2} apparaissent dans la partie supérieure et les formes déphosphorylées dans la partie inférieure.

La roscovitine n'inhibe donc pas l'activation de cdc2, mais son activité. La déphosphorylation de la tyrosine de p34^{cdc2} est catalysée par cdc25 et précède normalement l'activation de la kinase cdc2 à la transition G2/M. De plus, la kinase cdc2 phosphoryle et suractive la phosphatase de cdc25. La roscovitine a donc pu provoquer une interruption au niveau cdc2 kinase, entraînant une diminution de la déphosphorylation.

effets sur le cycle mitotique d'embryons d'oursins.

On ajoute de la roscovitine 60 minutes après la fertilisation. Le pourcentage d'embryons divisés est relevé 120 minutes après la fertilisation. Les résultats sont donnés sur la figure 4.

On constate qu'elle provoque un arrêt au stade prophase tardif, qui est dose-dépendant.

La IC₅₀ est de 10 µM. (Même à 100 µM, l'olomoucine ne provoque qu'un ralentissement de la transition préphase/métaphase, mais n'arrête pas les cellules en prophase).

On observe un large noyau dans les oeufs ainsi arrêtés par la roscovitine comme représenté sur la figure 5.

Cet arrêt s'avère totalement réversible. En effet, après plusieurs lavages avec de l'eau de mer, les oeufs entrent à nouveau dans les cycles mitotiques et se

développent en larves pluteus normales. Ces résultats sont obtenus même à des concentrations élevées en roscovitine de 100 μ M.

5 . effets sur la synthèse de l'ADN in vitro et l'activité MPF chez des extraits d'oeufs de Xénope.

Les essais sont réalisés selon (15), en opérant comme décrit dans (1) pour l'olomoucine.

10 On fait incuber des extraits de Xénope arrêtés au stade métaphase avec de la roscovitine et de la chromatine de sperme.

Avec des concentrations en roscovitine allant de 0 à 5 μ M, les chromosomes restent fortement condensés et aucune enveloppe nucléaire n'est visible. A une concentration de 10 μ M, et au-dessus, apparaissent des
15 noyaux d'interphase avec de la chromatine partiellement décondensée et une enveloppe nucléaire intacte, montrant que l'activité MPF a été inhibée (la IC_{50} est de 5 μ M).

20 On a également étudié l'inhibition de la synthèse de l'ADN en opérant comme décrit dans (1) pour l'olomoucine.

On a ainsi ajouté à un extrait d'oeufs, arrêtés au stade métaphase, de la roscovitine et de la chromatine de sperme.

25 L'extrait a ensuite été abandonné au stade interphase par addition de $CaCl_2$ (15) et (16). La synthèse de l'ADN total a été mesurée 3 h plus tard par incorporation de $[\gamma-^{32}P]$ -dATP dans du matériel précipitable par le TCA.

30 Comme le montre la figure 6, la réplication est inhibée par la roscovitine avec une IC_{50} de 15 μ M.

29

L'invention fournit ainsi de nouvelles purines dotées de propriétés inhibitrices de cdc2/cycline B de spécificité élevée.

Exemple 3 : Propriétés biochimiques et effets de la roscovitine sur des cellules de mammifères

Méthode

Criblage *in vitro* de cellules tumorales humaines
Soixante lignées cellulaires de tumeurs humaines
comprenant neuf types de tumeurs ont été cultivées pendant
24 heures préalablement à une exposition continue de 48
heures à 0,01-100 μ M de roscovitine. Pour estimer la
cytotoxicité, un test à la protéine sulforhodamine B a
été utilisée.

15

Culture de cellule L1210

Des cellules L1210 prélevées de cultures en
croissance exponentielle sur milieu RPMI-1640 supplémenté
de sérum de veau foetal à 10%, de pénicilline et de
streptomycine ont été comptées à l'aide d'un
hémocytomètre, placées à un taux de 5×10^4 cellules par
millilitres dans des plaques de cultures tissulaires à 96
puits en présence ou en absence de diverses concentrations
de roscovitine ou d'olomoucine, puis mises à incuber à 37°C
sous CO₂ à 5%. Pour inverser l'effet roscovitine, les
cellules L1210 cultivées pendant deux jours en présence ou
en absence de roscovitine ont été lavées dans du PBS pour
éliminer toute trace du produit actif, comptées et
replacées dans du milieu frais ne contenant aucun produit
actif (roscovitine ou olomoucine). La croissance cellulaire
a été mesurée quotidiennement en utilisant le test au
tétrazolium sur microculture. L'analyse du cycle cellulaire

30

a été réalisée sur des cellules fixées dans l'éthanol, traitées à la RNase 100 µg/ml et colorées à iodide de propidium. L'acquisition de données a été réalisée à l'aide d'un cytomètre par flux Coulter (Hialeah, FL, USA) EPICS Elite (marque déposée) et l'analyse de ces données à l'aide d'un logiciel Multicycle (Phoenix Flow Systems, San Diego, CA, USA) (marque déposée). Tous les tests ont été réalisés sur trois répétitions et toutes les expériences ont été répétées au moins deux fois.

Phosphorylation in vivo de vimentine

Pour étudier la phosphorylation in vivo de la vimentine par la kinase cdc2, les cellules ont été soit traitées soit non traitées avec de la roscovitine 60 µM pendant 48 heures préalablement à une exposition de la colcémide 10 ng/ml pendant 2 heures supplémentaires. Les extraits cellulaires ont alors été placés pour migration sur un gel SDS-PAGE 10%, transférés par Western blots et incubés avec des anticorps 4A4. Ces anticorps réagissent de manière croisée avec la vimentine phosphorylée par cdc2 mais ne réagissent ni avec la vimentine phosphorylée par d'autres kinases (protéine kinase CAMP dépendante, protéine kinase C, protéine kinase Ca²⁺-calmoduline-dépendante) ni avec la vimentine non phosphorylée : les anticorps 4A4 reconnaissent spécifiquement la vimentine qui est phosphorylée au niveau de son résidu Ser-55 par la kinase cdc2 lors de l'entrée en mitose de la cellule.

Résultats

La roscovitine (0,01-100 µM; exposition pendant 48 heures) a été testée sur 60 lignées cellulaires humaines tumorales comprenant neuf types de tumeurs (leucémie,

cancer des cellules non-petites de poumons, cancer du colon, cancer du système nerveux central, mélanome, cancer des ovaires, cancer du rein, cancer de la prostate et cancer du sein). Toutes les lignées cellulaires ont présentées une sensibilité équivalente à la roscovitine. La valeur moyenne IC_{50} est de 16 μM (alors qu'elle est de 60, 3 μM pour l'olomoucine). Aucune corrélation n'a été observée entre la sensibilité des lignées cellulaires à la roscovitine et la présence de p53 sauvage ou muté. La méthode d'analyse Compare a montré que les effets de la roscovitine et du flavopiridol sont comparables.

Concernant les effets de la roscovitine sur la croissance de la lignée cellulaire L1210, une inhibition dose-dépendante très nette de la croissance a été observée, comme la montre la figure 7A. La figure 7A où est représentée la croissance cellulaire en fonction de la concentration en roscovitine ou en olomoucine. Les courbes sont sensiblement identiques après deux et trois jours de culture comme observé avec les cellules tumorales ci-dessus mentionnées. La roscovitine est approximativement quatre fois plus efficace que l'olomoucine pour inhiber la croissance cellulaire (IC_{50} de 40 μM pour la roscovitine et 160 μM pour l'olomoucine). Bien que la plupart des cellules soient viables ($96 \pm 2 \%$ par exclusion au bleu de Trypan) après un traitement de 48 heures à la roscovitine 60 μM , elles restent irréversiblement stoppées, même après des lavages extensifs. Les cellules exposées à 120 μM de roscovitine meurent rapidement. Les effets de la roscovitine sur la distribution du cycle cellulaire ont ensuite été étudiés par cytométrie de flux. A 60 μM de roscovitine, les cellules restent stoppées en G1 et s'accumulent en G2 comme le montre la figure 7B où sont

représentées les proportions (%) de chaque phase du cycle cellulaire observée (G1, S, G2/M) en présence ou en absence de roscovitine.

Dans le but d'identifier la cible moléculaire *in vivo* de la roscovitine, des anticorps 4A4 ont été utilisés. Les résultats sont illustrés en figure 8 ou sont représentées les protéines totales extraites des cellules traitées (+) ou non traitées (-) à la roscovitine puis résolues sur SDS-PAGE avant transfert de Western avec les anticorps 4A4. Les cellules non traitées s'arrêtent en métaphase et accumulent de la vimentine phosphorylée par cdc2. Les cellules traitées à la roscovitine ne présentent par contre pas de vimentine phosphorylée par cdc2, ce qui montre que cdc2 a en fait été inhibée *in vivo* et que les cellules ont été stoppées avant la métaphase.

La roscovitine contribue également à réduire l'hyperphosphorylation de tau observée durant la maladie d'Alzheimer : une cdk spécifique du cerveau (cdk5/p35) phosphorylant certains sites de tau est particulièrement sensible à la roscovitine.

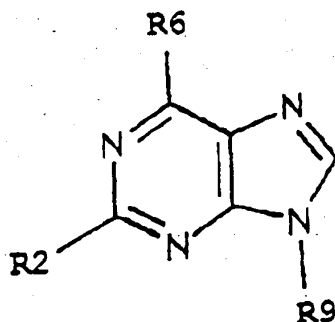
Références Bibliographiques

- 1 - Vesely et al ((1994) *Eur. J. Biochem.* 224, 771-786.11.
- 5 2 - Azzi et al (1994) *J. Biol. Chem.* 269, 13279-13288.
- 3 - Baratte et al (1992) *Anticancer Res.* 12, 873-880.
- 4 - Azzi et al (1992) *Eur. J. Biochem.* 203, 353-10 360.
- 5 - Richardson et al (1990) *Genes and Developments* 4, 1332-1344.
- 6 - Meijer et al (1991) *EMBO J.* 10, 1545-1554.
- 7 - Lew et al (1992) *J. Biol. Chem.* 267, 13383-15 13390.
- 8 - Meyerson et al (1994) *Molecul. Cellul. Biol.* 14, 2077-2086.
- 9 - Charest et al (1993) *Molecul. Cellul. Biol.* 20 13, 4679-4690.
- 10 - Landgraf et al (1989) *Eur. J. Biochem.* 181, 643-650.
- 11 - Pinna, L.A. (1990) *Biochim. Biophys. Acta* 1054, 267-284.
- 25 12 - Craig et al (1987) *J. Biol. Chem.* 262, 3278--3284.
- 13 - Bianchi et al (1994) *Mol. Gen. Genet.* 242, 337-345.
- 14 - Kallen et al (1990) *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 168, 616-624. 30
15. Blow et al (1986), *Cell* 47, 577-587
16. Blow (1993) *J. Cell-Biol.* 122, 993-1002

34

REVENDICATIONS

- 1- Dérivés de purine biologiquement actifs,
caractérisés en ce qu'ils répondent à la formule (I)



dans laquelle

- R2, R6 et R9, identiques ou différents les uns des autres, représentent un atome d'halogène, un radical R-NH, R-NH-NH-, NH2-R'-NH- ou R-NH-R'-NH-, dans lequel R représente un radical alkyle à chaîne droite ou ramifiée, saturé ou insaturé, un radical aryle ou cycloalkyle, ou un hétérocycle, et R' un groupe alcoylène à chaîne droite ou ramifiée, saturé ou insaturé, ou un groupe arylène ou cycloalcoylène, R et R' renfermant chacun de 1 à 8 atomes de carbone, et étant substitués, le cas échéant, par un ou plusieurs groupes -OH, halogène, amino ou alkyle,

- R2 pouvant, en outre, représenter un hétérocycle portant, le cas échéant, un radical alkyle, à chaîne droite ou ramifiée, saturé ou insaturé, un radical aryle ou cycloaryle, ou un hétérocycle, éventuellement substitué par un ou plusieurs groupes -OH, halogène, amino ou alkyle,

- R9 pouvant, en outre, représenter un radical alkyle à chaîne droite ou ramifiée, saturé ou insaturé, un radical aryle ou cycloalkyle,

5 - R2 et R9 pouvant représenter en outre un atome d'hydrogène, à l'exception des dérivés dans lesquels lesdits substituants présentent respectivement les significations suivantes:

R6 et R9, un groupe benzylamino et méthyle, .

10 R2 et R6 , un groupe 2-hydroxyéthylamino et benzylamino,

R2, R6 et R9, un groupe amino, benzylamino et méthyle, ou chloro, amino et méthyle, ou chloro, benzylamino et méthyle, ou chloro, 3-hydroxybenzylamino et méthyle, ou chloro, 5-hydroxypentylamino et méthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, benzylamino et isopropyle, ou 2-hydroxyéthylamino, amino et méthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, isopentényl et méthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, isopenténylamino et méthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, benzylamino et méthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, benzylamino et 2-hydroxyéthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, benzylamino et isopropyle, ou 2-hydroxyéthylamino, (3-hydroxybenzyl)amino et méthyle, ou 2-hydroxyéthylamino, (3-hydroxybenzyl)amino et isopropyle, ou 2-hydroxyisobutylamino, 6-benzylamino et méthyle, 2-hydroxyéthylamino, isopenténylamino et isopropyle, ou (2-hydroxyéthyl)amino, (4-méthoxybenzyl)amino et isopropylamino,

et caractérisés en ce qu'ils présentent une IC₅₀ inférieure ou égale à 5µM environ pour cdc2/cycline B.

2- Dérivés de purine selon la revendication 1, caractérisés en ce que l'atome d'halogène est choisi parmi

le chlore, le brome ou le fluor, le radical alkyle parmi les radicaux méthyle, éthyle, propyle, isopropyle, butyle et isobutyle, pentyle, hexyle et heptyle,

5 . le radical alcoylène, parmi le radical méthylène, éthylène, propylène, isopropylène, butylène, isobutylène, pentène ou isopentène,

 . le radical aryle est un groupe benzyle,

 . le radical cycloalkyle est un groupe cyclohexyle,

10 . le radical arylène est un groupe benzylène,

 . le radical cycloalcoylène est un groupe cyclohexylène,

 . l'hétérocycle est un hétérocycle azoté et/ou oxygéné tel qu'un imidazole, un oxadiazole, une pyridine, 15 une pyridazine ou une pyrimidine, ou encore une pyrrolidine.

3- Dérivés de purine selon la revendication 1 ou 2, caractérisés en ce que R2 est choisi parmi les radicaux capables de se lier, dans un complexe cdk2/ATP, à une 20 région de la poche de liaison à l'ATP occupée par le ribose.

4. Dérivés de purine selon la revendication 3, caractérisés en ce que R2 est choisi parmi un atome de chlore, un radical amino, méthylamino, éthylamino, n- 25 heptylamino, aminoéthylamino, aminopropylamino, diméthylaminoéthylamino, hydroxyéthylamino, hydroxypropylamino, hydroxyisobutylamino, hydroxypentylamino ou hydroxyméthylpropylamino, (2R)-2-hydroxyméthyle-pyrrolidine-1-yl, N-benzylami-noéthanol, (R,S)-amino-héxanol, (S)-amino-2- 30 phényléthanol, (R)-amino-2-phényléthanol, (R)-amino-3-phénylpropanol, (R,S)-amino-pentanol, (R)-amino-propanol, (S)-amino-propanol, (R)-N-pyrrolidine méthanol.

37

5- Dérivés de purine selon la revendication 4, caractérisés en ce que R2 est un groupe hydroxypropylamino.

6- Dérivés de purine selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisés en ce que R6 est choisi parmi un groupe amino, isopenténylamino, hydroxypentylamino, 4-hydroxy-3-méthyl-trans-2-buténylamino, benzylamino hydroxybenzylamino, hydroxyéthyl benzylamino, cyclohexylméthylamino, isopentène, benzylamino ou (3-iodo)-benzylamino.

7. Dérivés de purine selon la revendication 6, caractérisés en ce que R6 comporte un résidu hydrophobe, tel que benzyle ou hydroxybenzyle.

8- Dérivés de purine selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisés en ce que R9 est choisi parmi un atome d'hydrogène, un radical méthyle, isopropyle ou hydroxyéthyle.

9. Dérivés de purine, selon la revendication 8, caractérisés en ce que R9 est un groupe hydrophobe tel que le groupe isopropyle.

10- Dérivés de purine, caractérisés en ce qu'ils sont choisis parmi la 2-chloro-6-(3-hydroxybenzylamino)-9-méthylpurine, la 2-(3-hydroxypropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-D,L-(2-hydroxypropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-(5-hydroxypentylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-(1-D,L-hydroxyméthylpropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-(aminoéthylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-bis(2-hydroxyéthylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-(2-hydroxypropylamino)-6-isopenténylamino-9-isopropylpurine, la 2-(2-hydroxyéthylamino)-6-cyclohexylméthylamino-9-méthylpurine, la 2-(2-hydroxyéthylamino)-6-

- benzylamino-9-méthylpurine, la 2-(2-hydroxyéthyl-amino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-chloro-6-isopenténylamino-9-isopropylpurine, la 2-(2-hydroxyéthylamino-6-(3-hydroxybenzylamino)-9-méthylpurine, 6-benzylamino-2-
5 [(2R)-2-hydroxyméthyl-pyrrolidine-1-yl]-9-isopropyle-(9H)-purine non cristalline, 2-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-N-benzylaminoéthanol, 2-(R,S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-héxanol, 2-(S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-2-phénylé-
10 thanol, 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-2-phényléthanol, 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-3-phénylpropanol, 2-(R,S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-pentanol, 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-
15 propanol, 2-(S)-[benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-propanol, 2-(R)-(-)-[6-(3-iodo)-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine méthanol, 2-(R)-(-)-[6-benzylamino-9-cyclopentyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine méthanol.
- 20 11- Dérivés de purine selon la revendication 10, caractérisés en ce que qu'ils sont choisis parmi la 2-(3-hydroxypropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-D,L-(2-hydroxypropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-(aminoéthylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la
25 2-bis-(2-hydroxyéthylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine, la 2-(2-hydroxypropylamino)-6-isopenténylamino-9-isopropylpurine, 6-benzylamino-2-[(2R)-2-hydroxyméthyl-pyrrolidine-1-yl]-9-isopropyle-(9H)-purine non cristalline, 2-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-

2-yl]-N-benzylaminoéthanol, 2-(R,S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-héxanol, 2-(S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-2-phényléthanol, 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-2-phényléthanol, 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-3-phénylpropanol, 2-(R,S)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-pentanol, 2-(R)-[6-benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-amino-propa-
nol, 2-(S)-[benzylamino-9-isopropyle-(9H)-purine-2-yl]-
amino-propanol, 2-(R)-(-)-[6-(3-iodo)-benzylamino-9-isopro-
pyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine méthanol, 2-(R)-(-)-[6-benzylamino-9-cyclopentyle-(9H)-purine-2-yl]-N-pyrrolidine méthanol.

12- Les isomères optiques et les mélanges racémiques, le cas échéant les isomères géométriques, des dérivés selon l'une des revendications 1 à 11.

13- La 2-(1-D,L-hydroxyméthylpropylamino)-6-benzylamino-9-isopropylpurine.

14- Compositions pharmaceutiques, caractérisées en ce qu'elles comprennent une quantité efficace d'au moins un dérivé de purine selon l'une des revendications 1 à 13, en association avec un véhicule pharmaceutique.

15- Compositions pharmaceutiques selon la revendication 14, caractérisées en ce qu'elles sont administrables par voie orale ou injectable.

16- Compositions pharmaceutiques selon la revendication 15, caractérisées en ce qu'il s'agit de tablettes, comprimés, gélules, pilules et qu'elles

renferment de 1 à 100 mg de principe actif par unité de prise, de préférence de 10 à 40 mg.

5 17- Compositions pharmaceutiques selon la revendication 15, caractérisées en ce qu'il s'agit de solutions injectables, ces solutions renfermant avantageusement, par unité de prise, de 1 à 50 mg de principe actif, de préférence de 10 à 30 mg.

10 18- Compositions pharmaceutiques selon l'une des revendications 14 à 17, caractérisées en ce qu'elles sont utilisées comme médicaments antimitotiques, en particulier pour la chimiothérapie de cancers, ou encore pour le traitement de psoriasis, de parasitoses telles que celles dues à des champignons ou à des protistes, ou de la maladie d'Alzheimer.

15 19- Compositions pharmaceutiques selon l'une des revendications 14 à 17, caractérisées en ce qu'elles sont utilisées comme médicaments antineurodégénératifs, notamment anti-apoptose neuronale.

20 20- Compositions herbicides, caractérisés en ce qu'elles comprennent au moins un dérivé de purine selon l'une des revendications 1 à 13, éventuellement en association avec d'autres agents phytopharmaceutiques.

1/7

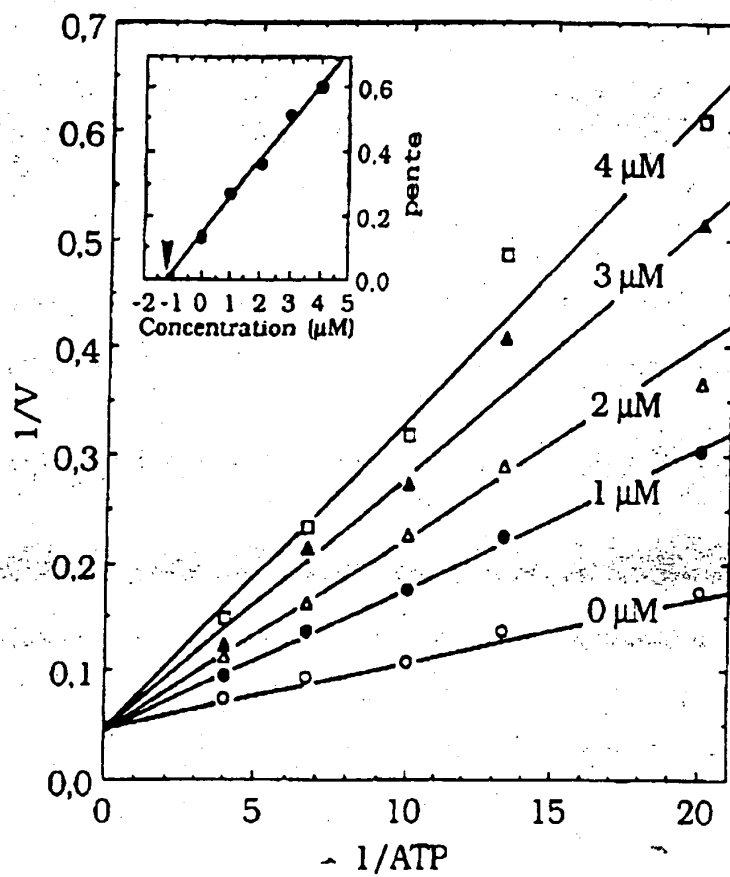


Figure 1

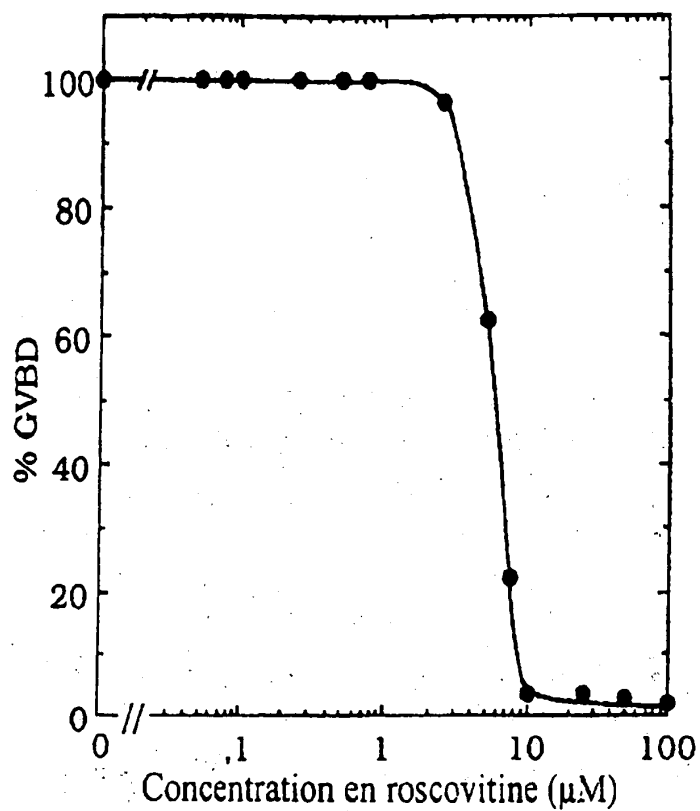
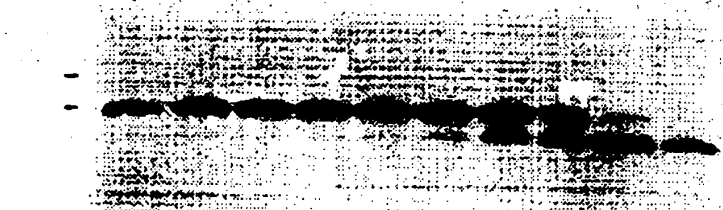
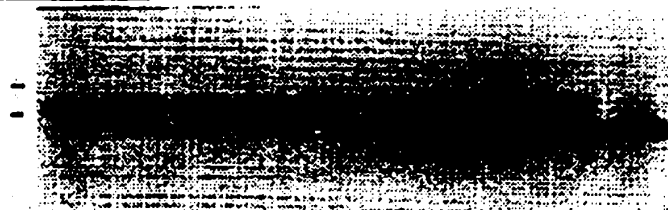


FIGURE 2

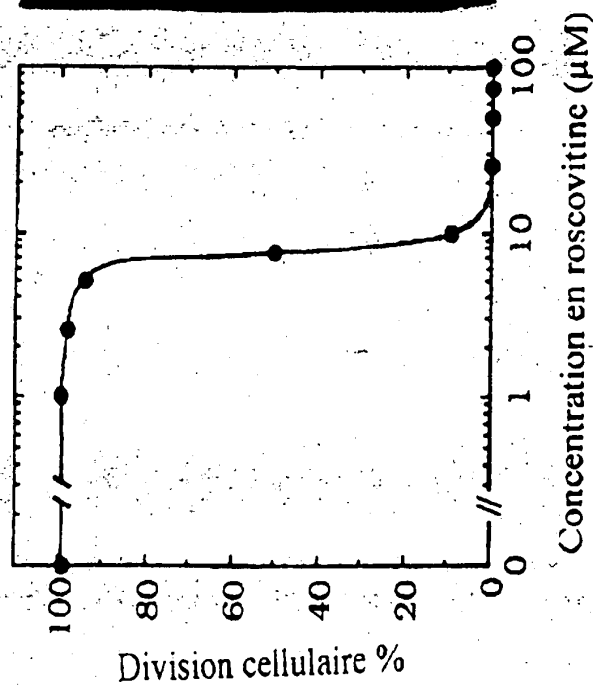
Témoin

+ Roscovitine

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18

Temps après addition de 1-méthyladénine (min)

Figure 3



4/7

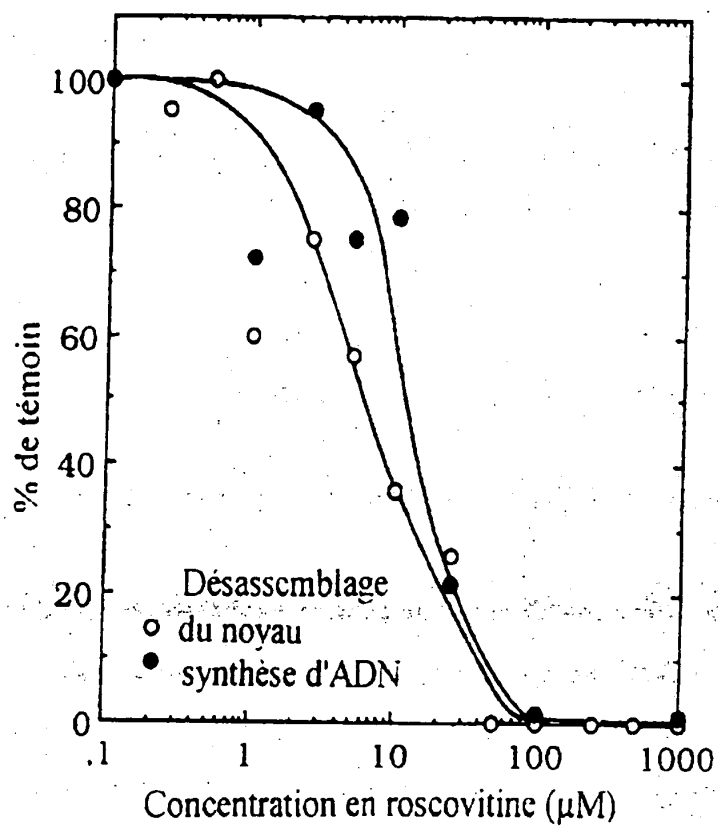


Figure 6

5/7

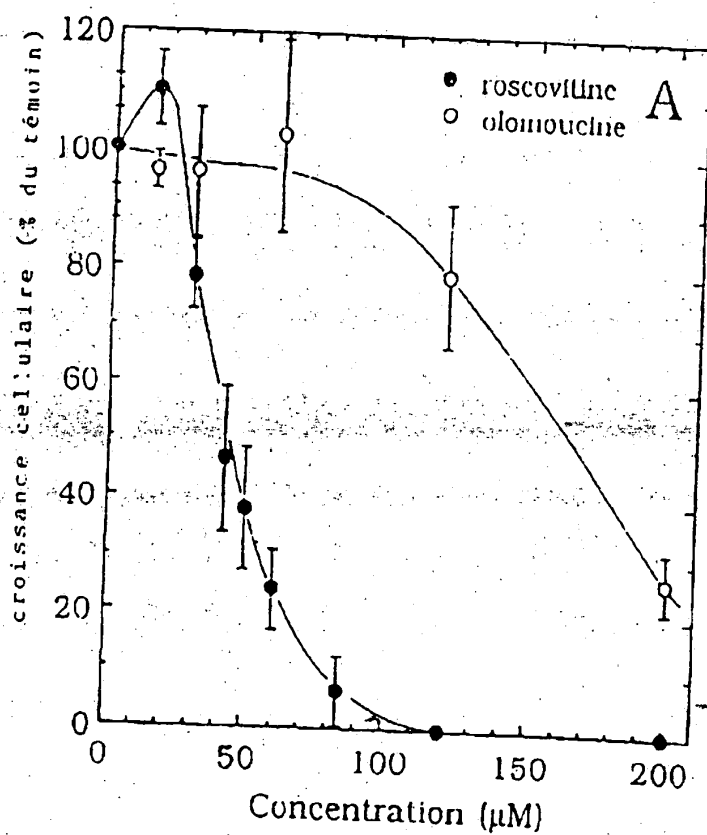


Figure 7a

6/7

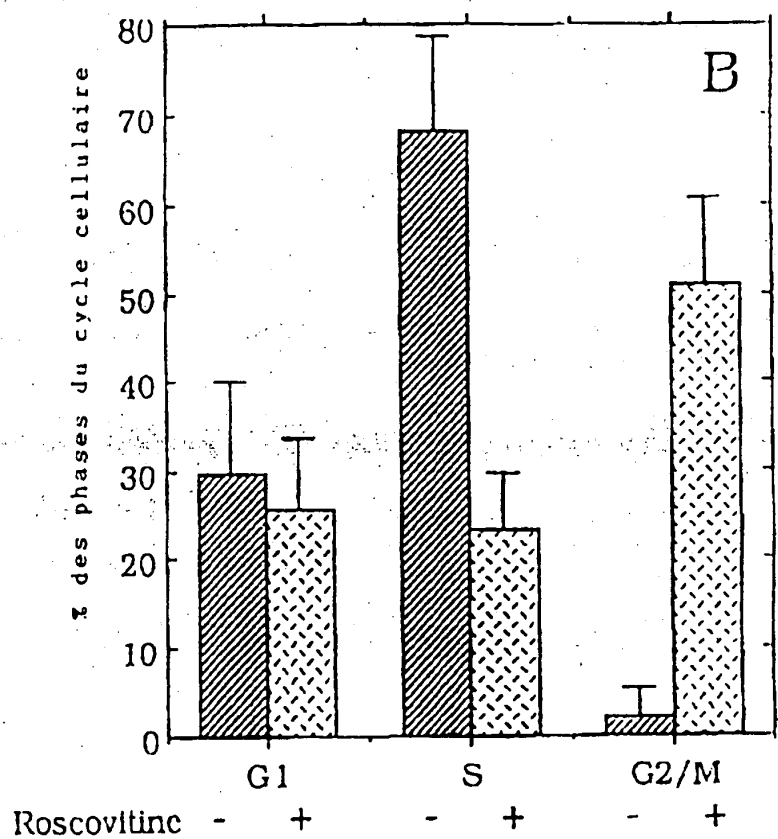


Figure 7b

7/7

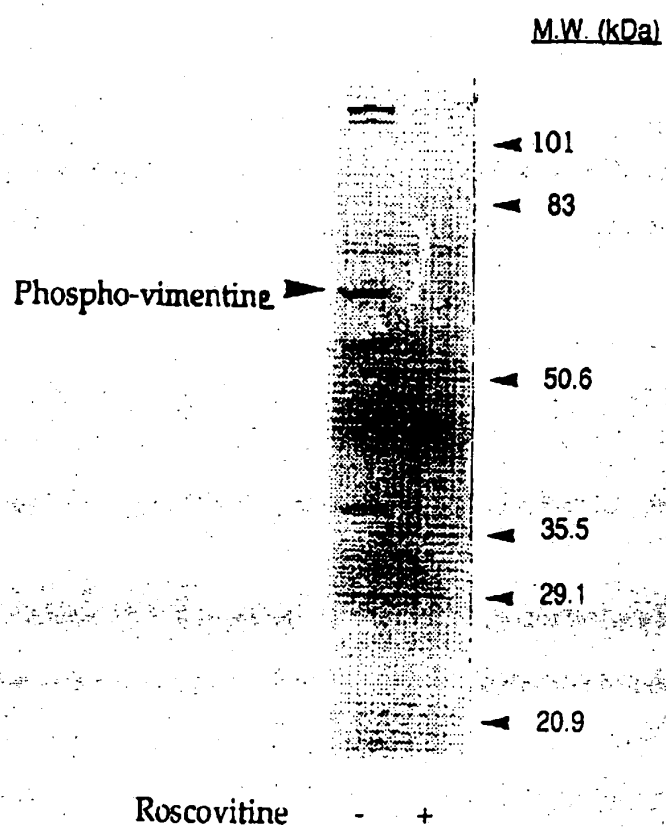


Figure 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Application No.
PCT/FR 96/01905

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 C07D473/16 C07D473/40 C07D473/32 A61K31/52

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 C07D

Documentation searched other than minimum documentation in the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 104, no. 19, 12 May 1986 Columbus, Ohio, US; abstract no. 164159a, page 274; column 1; XP002009710 see abstract & PHYTOCHEMISTRY, vol. 25, no. 2, 1986, pages 303-310. --- -/-	1-18

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- * A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- * E* earlier document but published on or after the international filing date
- * L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- * O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- * P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- * T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- * X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- * Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- * A* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 March 1997

Date of mailing of the international search report

10.03.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.O. Box 3818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 cpo nl.
Fax (+31-70) 340-2016

Authorized officer

Luyten, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/FR 96/01905

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 115, no. 23, 9 December 1991 Columbus, Ohio, US; abstract no. 252157f, page 471; column 1; XP002009711 see abstract & PHYTOCHEMISTRY, vol. 30, no. 8, 1991, pages 2477-2486, ---	1-18
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 117, no. 5, 3 August 1992 Columbus, Ohio, US; abstract no. 44644b, page 534; column 1; XP002009712 see abstract & J. PLANT GROWTH REGUL., vol. 10, no. 4, 1991, pages 179-185, ---	1-18
A	EUROPEAN JOURNAL OF BIOCHEMISTRY, vol. 224, no. 2, 1 September 1994, pages 771-786, XP002009709 JAROSLAV VESELY ET AL: cited in the application see the whole document -----	1-18